

УДК 621.592.3

## ОПТИМИЗАЦИЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПОТОКОВ В ДЕТАНДЕРНОМ ОЖИЖИТЕЛЕ ПРИРОДНОГО ГАЗА НА ГРС

**С. Д. Ратманов<sup>1</sup>, А. С. Колпаков<sup>2</sup>**

<sup>1,2</sup> Уральский федеральный университет имени первого  
Президента России Б. Н. Ельцина, Екатеринбург, Россия

<sup>1</sup> semensam77777@gmail.com

**Аннотация.** Проведен сравнительный анализ режимов работы детандерного ожижителя природного газа применительно к циклу среднего давления Клода. Численным моделированием в среде Aspen HYSYS рассчитан коэффициент ожижения при разных соотношениях продукционного и детандерного потоков применительно к условиям работы комплекса по производству СПГ на ГРС.

**Ключевые слова:** природный газ, ожижитель, детандер, энергоэффективность, детандерный поток, коэффициент ожижения

## OPTIMIZATION OF FLOW DISTRIBUTION IN THE NATURAL GAS EXPANDER LIQUEFIER AT THE GAS DISTRIBUTION STATION

**S. D. Ratmanov<sup>1</sup>, A. S. Kolpakov<sup>2</sup>**

<sup>1,2</sup> Ural Federal University named after the First  
President of Russia B. N. Yeltsin, Ekaterinburg, Russia

<sup>1</sup> semensam77777@gmail.com

**Abstract.** A comparative analysis of the operating modes of the natural gas expander liquefier is performed in relation to the Claude medium pressure cycle. Numerical modeling in the Aspen HYSYS environment has calculated the liquefaction coefficient for different ratios of production and expander flows in relation to the operating conditions of the LNG production complex at the gas station.

**Keywords:** natural gas, liquefier, expander, energy efficiency, expander flow, coefficient of liquefaction

В настоящее время при самой большой в мире протяженности магистральных газопроводов (175,2 тыс. км) и газораспределительных сетей (959,4 тыс. км) по состоянию на 1 января 2020 г. газифицировано 70,1 % территории РФ. Действующими программами газификации предусматривается развитие газоснабжения, в т. ч. способом беструбопроводной газификации регазифицированным сжиженным природным газом (СПГ), в первую очередь для решения задач теплоснабжения поселений за счет сжигания экологически чистого топлива и снижения себестоимости отпускаемой тепловой энергии. Такой подход к порядку формирования топливно-энергетических балансов определен в перечне поручений Президента РФ от 31 мая 2020 г. [1].

Немаловажно и перспективное в коммерческом плане применение СПГ в транспортном секторе, которое сокращает себестоимость грузоперевозок и существенно уменьшает выбросы автотранспорта в окружающую среду [2].

Ресурсная база СПГ в обоих случаях предполагает развитие малотоннажного производства, локализованного в соответствии с формируемыми методиками [3] в первую очередь на газораспределительных станциях (ГРС) магистральных газопроводов, в которых энергия вносится в установку ожижения комплекса по производству СПГ (КСПГ) за счет перепада давлений газового потока, компримированного в системе газокompрессорных станций самих магистральных газопроводов.

Вследствие того, что при детандерной технологической схеме КСПГ на ГРС, кроме тормозной ступени турбодетандера, отсутствует иное компрессорное оборудование, составляющее в структуре капитальных затрат альтернативных комплексов по производству СПГ до 40 % [4], себестоимость производимого по рассматриваемой технологии СПГ имеет минимальное возможное значение, что способствует масштабному внедрению КСПГ на ГРС в рамках развития инфраструктуры СПГ как энергетического и газомоторного топлива в регионах с развитой сетью магистральных газопроводов.

Отсюда вытекает задача оптимизации режимов работы энергоэффективных детандерных ожижителей природного газа, работающих практически без затрат энергии по циклу среднего давления Клода и реализующих потенциал перепада давлений между магистральными и распределительными сетями.

В настоящее время в России два комплекса малотоннажного производства СПГ на ГРС используют детандерную технологию: КСПГ ГРС-4 в Екатеринбурге и КСПГ ГРС-3 в Магнитогорске.

Наибольший опыт эксплуатации накоплен на ГРС-4 ООО «Газпром трансгаз Екатеринбург» (комплекс производительностью 3 т/ч СПГ), в котором проектное распределение продукционного и детандерного потоков составляет 13 и 87 % соответственно.

Известно, что относительная величина детандерного потока является ключевым фактором повышения коэффициента ожижения и, следовательно, производительности ожижителя природного газа [5].

В связи с этим была поставлена задача численным методом с использованием ресурса программного комплекса Aspen HYSYS исследовать возможность увеличения производительности ожижителя за счет оптимизации соотношения продукционного и детандерного потоков применительно к производственным условиям комплекса на ГРС-4.

Расчет выполнен для зимнего периода эксплуатации при номинальном расходе природного газа на входе в КСПГ  $41071 \text{ м}^3/\text{ч}$  ( $28750 \text{ кг/ч}$ ), давлении  $3,65 \text{ МПа}$ , температуре  $+1 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Расширение природного газа в турбодетандере в соответствии с расчетной схемой КСПГ (рис. 1) происходило в интервале давлений  $3,1\text{--}0,7 \text{ МПа}$ .

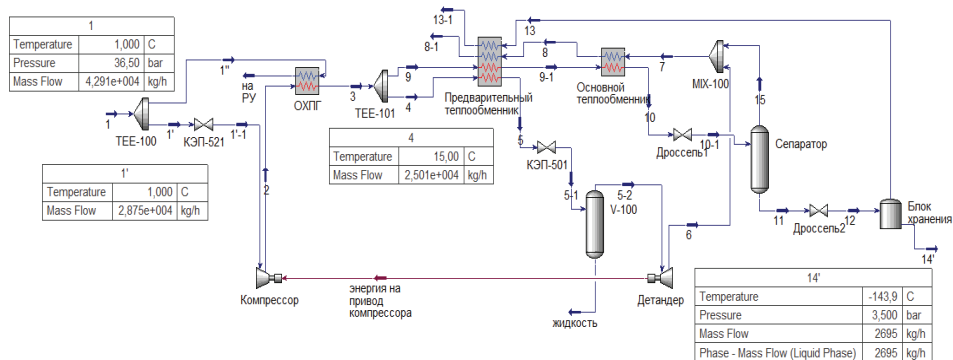


Рис. 1. Расчетная схема КСПГ на ГРС-4

В ходе численного эксперимента с использованием среды Aspen HYSYS доля продукционного потока изменялась в диапазоне от 12 до 15 % с постоянным шагом  $0,1 \text{ } \%$ .

Для каждого случая были определены расход СПГ на выходе из ожигателя и коэффициент ожигения. Точкой отсчета являлось значение доли продукционного потока в номинальном режиме работы КСПГ 13 % (рис. 2).

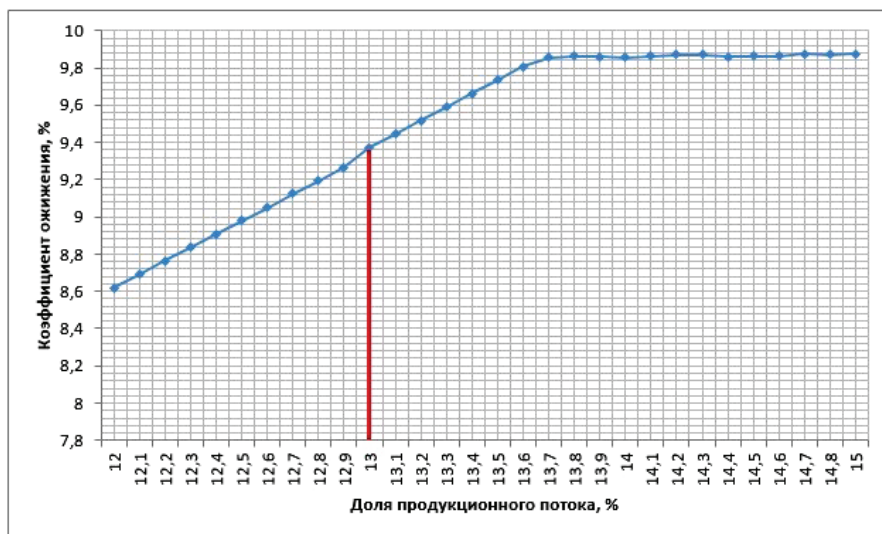


Рис. 2. Зависимость коэффициента ожигения от величины доли продукционного потока

Согласно расчетам (таблица) в эксплуатационном режиме при номинальном расходе природного газа и проектной доле продукционного потока 13 % КСПГ не обеспечивает проектной производительности по СПГ 3,0 т/ч.

Таблица

Данные расчетов

Доля продукционного потока, %	Расход газа на входе, кг/ч	Расход СПГ на выходе, кг/ч	Коэффициент ожигения, %
13,0	28750	2695	9,373913043
13,8	28750	2836	9,864347826

Выход СПГ на 11,3 % ниже паспортных характеристик ожигателя. В этих условиях целесообразно увеличить долю продукционного потока до 13,8 % с увеличением коэффициента ожигения на 5,23 % и выходом на производительность 2836 т/ч.

Полученный результат указывает на завышение доли детандерного потока при проектировании КСПГ и необходимость развернутого исследования влияния такого фактора во всем возможном диапазоне эксплуатационных параметров.

Дальнейшее увеличение выхода СПГ и достижение проектной производительности, по-видимому, возможно при понижении температуры детандерного и продукционного потоков за счет более глубокого охлаждения как полного потока природного газа в охладителе природного газа за блоком осушки КСПГ, так и детандерного потока в предварительном охладителе газа, тепловая эффективность которого в значительной степени зависит от загрязнения газа маслом при компримировании вследствие износа лабиринтных уплотнений турбокомпрессора при длительной эксплуатации.

#### **Список источников**

1. Перечень поручений Президента РФ по результатам проверки исполнения законодательства, направленного на развитие газоснабжения и газификации регионов [Электронный ресурс] // Президент России. Москва. 2020. 31 мая. URL: <http://www.kremlin.ru/acts/assignments/orders/63454> (дата обращения: 27.11.2020).
2. Расширение использования природного газа в качестве газомоторного топлива [Электронный ресурс]. URL: <http://gazpronin.ru/DraftNGVprogramRus.pdf> (дата обращения: 27.11.2020).
3. Методические подходы к формированию программ малотоннажного производства и использования сжиженного природного газа / С. П. Горбачёв [и др.] // Вести газовой науки. 2017. № 1 (29). С. 227–240.
4. Паркин А. Н. О выборе оптимальных параметров для детандерных схем установок сжижения природного газа на ГРС и для их основного технологического оборудования // Низкотемператур. и пищевые технологии в XXI веке : сб. материалов VII Международ. науч.-техн. конф. (Санкт-Петербург, 17–20 нояб. 2015 г.). Ч. I. СПб. : Ун-т ИТМО, 2015. С. 307–313.
5. Криогенные системы. Т. 2: Основы проектирования аппаратов, установок и систем / А. М. Архаров [и др.] ; под общ. ред. А. М. Архарова, А. И. Смородина. М. : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 1999. 719 с.